

АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНКАХ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Ю.В.Илисовский, Э.З.Яхкинд, Е.К.Гольман, А.П.Митрофанов

Исследован акустоэлектрический эффект в слоистой структуре $YZ - LiNbO_3$ - сверхпроводящая пленка $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. При 300К знак акустоэдс положительный, т.е. соответствует дырочной проводимости. При $T \ll T_c = 98K$ акустоэдс резко падает до нуля (95К), изменяет знак и возрастает по абсолютной величине до максимума при $T = 90K$ ($R = 0$) с последующим уменьшением до нуля при 78 - 81К.

В ряду эффектов, сопровождающих распространение акустических волн в твердом теле, акустоэлектрический эффект занимает особое место, поскольку его величина определяется передачей импульса звуковой волны непосредственно системе носителей заряда. Это побуждает к изучению акустоэлектрического эффекта в материалах ВТСП, где при измерениях поглощения и скорости звука релаксационные процессы в решетке маскируют релаксацию, обусловленную взаимодействием звука с носителями заряда.

Нами наблюдался акустоэлектрический эффект в пленках $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, толщиной $d = 0,15 - 0,40$ мкм, нанесенных методом магнетронного распыления на полированную поверхность подложки $YZ - LiNbO_3$. Исследуемый образец, сформированный из центральной, более однородной части пленки, схематически изображен на рис. 1. В подложке возбуждалась релеевская поверхностная акустическая волна - ПАВ с частотой 87 МГц и интенсивностью до 2 - 3 кВт/см². Импульс ПАВ мог генерироваться любым из двух встречноштыревых преобразователей - ВШП, имеющих на подложке, при этом приемный ВШП позволял контролировать амплитуду импульса звука, прошедшего через образец. Длительность импульсов ПАВ изменялась от 1,5 до 7 мкс, частота повторения была 50 Гц.

Держатель с подложкой и образцом помещался в криостат, заполненный газообразным гелием. Температура могла регулироваться в пределах 4,2 - 300К нагревателем, не создающим магнитного поля (с точностью не хуже 0,1Э). Электрическое сопротивление пленки измерялось четырехзондовым методом.

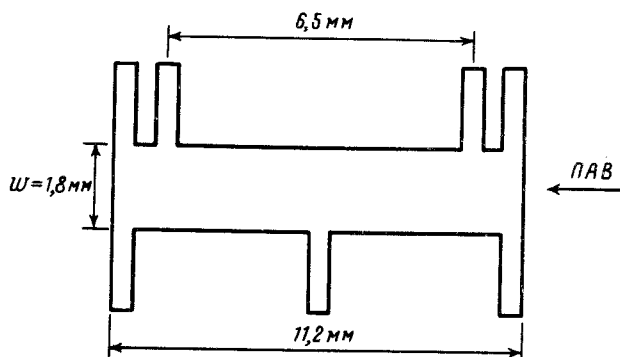


Рис. 1. Схематическое изображение образца. Толщина пленки $d = 0,14$ мкм, удельное сопротивление при $T = 300K$ $\rho_{300K} = 5,7 \cdot 10^{-4}$ Ом · см. ПАВ распространяется вдоль длины образца, апертура ПАВ $a = 3$ мм

Измерения при 300К показали, что при включении ПАВ (в отсутствие транспортного тока I_{TP}) на разомкнутых контактах образца, с задержкой на время, требующейся на прохождение звуком пути до образца, наблюдается импульс напряжения - акустоэдс V_a , а в случае короткозамкнутых контактов - иден-

гичный по форме видеосигнал акустотока I_a . Знак импульсов V_a и I_a свидетельствовал в пользу того, что носителями заряда являются дырки. При изменении направления распространения ПАВ на противоположное, полярность импульсов изменялась на обратную. Амплитуда импульсов V_a и I_a линейно зависела от мощности ПАВ $P_{ак}$ (рис. 2), форма импульсов и характер ее изменения в зависимости от соотношения длительности импульса и времени прохождения звуком образца имели обычный для импульсного акустоэлектрического эффекта вид ¹.

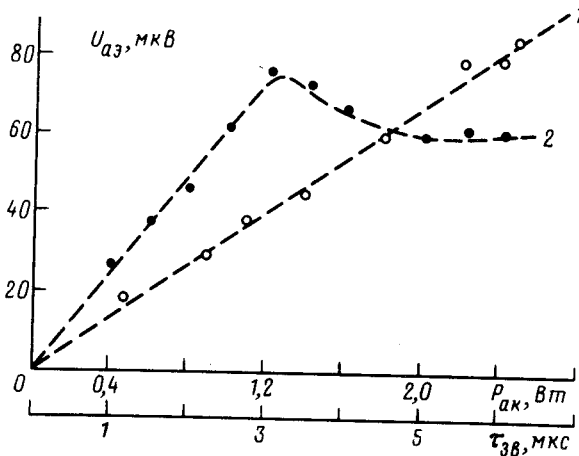


Рис. 2. Зависимость акустоэдс V_a при $T=300K$ от: 1 - \circ - мощности ПАВ $P_{ак}$, Вт, 2 - \bullet - длительности импульсов ПАВ τ , мкс

Температурная зависимость $R/R_{300K} V_a$ и I_a приведена на рис.3. С понижением температуры сопротивление R линейно уменьшалось вплоть до области сверхпроводящего перехода. При $T = 170 - 220K$ наблюдается изменение наклона линейной зависимости $R/R_{300K}(T)$, отмеченное ранее в монокристалле $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ² и отнесенное авторами на счет фазового перехода. В этом же интервале температур наблюдается размытый максимум V_a и I_a .

В области сверхпроводящего перехода, который для рассматриваемого образца по уровню $(0,1 - 0,9) R_{300K}$ лежит в диапазоне $T = 92-96K$, происходит резкое уменьшение амплитуды импульсов акустоэдс и акустотока до нуля (вблизи $95K$), а затем обращение их полярности и нарастание по абсолютной величине до максимума при $T = 90K$ с последующим спаданием до нуля при $T = 78 - 81K$. Следует отметить хорошую воспроизводимость результатов, отсутствие заметного гистерезиса (скорость изменения $T \sim 0,3 K/мин$). Качественно сходные результаты были получены и на трех других пленках. Амплитуда импульса ПАВ на приемном ВШП во всем исследованном интервале температур практически не изменялась (рис. 3 - кривая 4 $A_{3в}$).

Поскольку механизм высокотемпературной сверхпроводимости (и акустоэлектронного взаимодействия) в материалах типа $Y - Ba - Cu - O$ пока не установлен, ограничимся краткими замечаниями.

Наблюдаемая ЭДС, по-видимому, действительно имеет акустоэлектронную природу: выше T_c она сохраняет более или менее постоянную величину, а ниже T_c быстро спадает до нуля.

1. Рассмотрим сначала область $T > T_c$. Знак V_a показывает, что основными носителями при $T > T_c$ являются дырки, что согласуется с имеющимися косвенными данными и данными по эффекту Холла. Однако измеренная величина акустоэдс более, чем на порядок превышает ту, которую дают оценки на основе известных механизмов. По нашему мнению, это может объясняться слоистостью структуры.

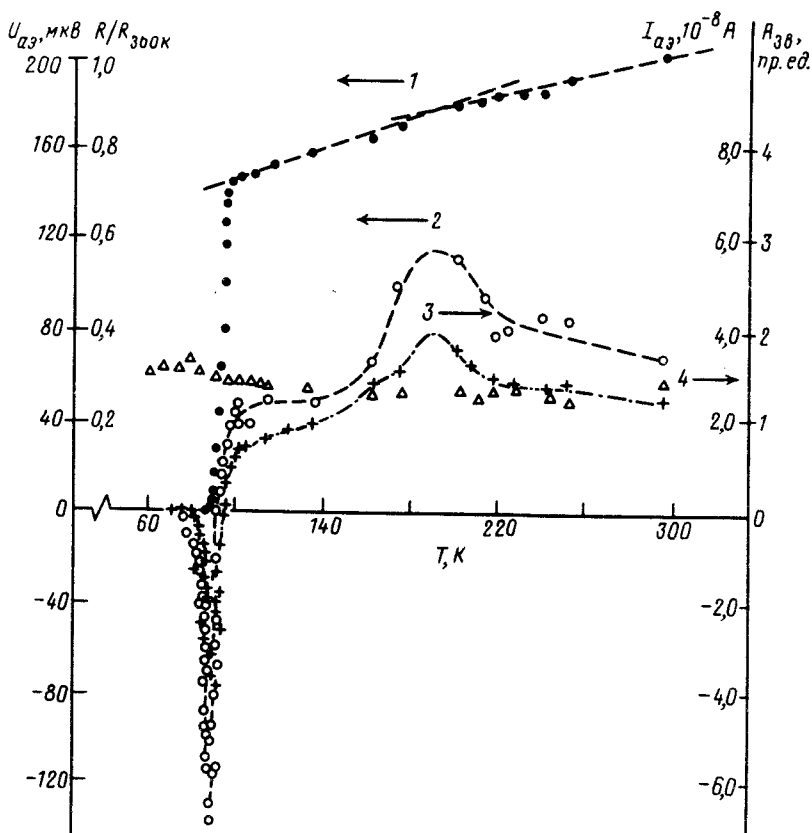


Рис. 3. Температурные зависимости: 1 - ● - R/R_{300K} , транспортный ток через пленку 10 мкА; 2 - ○ - V_a - акустоэдс, 3 - + - I_a - акустоток, 2, 3 - интенсивность ПАВ 2 кВт/см², транспортный ток через пленку равен 0; 4 - ▽ - A_{3a} амплитуды импульсов ПАВ с приемного ВШП

2. Резкому изменению знака V_a при $T < T_c$ пока трудно дать объяснение. Внешне наблюдаемое поведение V_a очень похоже на поведение ЭДС Холла в сверхпроводящих монокристаллах $Bi_2CaSr_2Cu_2O_x$, обнаруженное авторами работы ³ и объясненное ими термостимулированным крипом вихрей. Поскольку наши пленки имеют поликристаллическую природу, возможность таких процессов нельзя исключить и она требует дальнейшего изучения. Однако сходные черты поведения эффекта Холла в $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ объясняются авторами ⁴ особенностями строения зоны вблизи поверхности Ферми. Различные варианты строения зон привлекаются в ряде работ для объяснения аномалий акустического поглощения при $T < T_c$ ⁵. Следует упомянуть и работу ⁶, в которой на основе измерений высокочастотной составляющей магнитного поля, сопутствующей акустической волне, делаются выводы о наличии особенностей в акустоэлектронном взаимодействии, связанных с сегнетоэлектрическим фазовым переходом. По мнению авторов в $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ действует экситонный механизм сверхпроводимости, что также может являться причиной специфического поведения акустоэлектронных эффектов.

Литература

1. Weinreich G Phys. Rev., 1956, 104, 321.
2. Копелевич Я.В., Леманов В.В., Сырников П.П. ФТТ, 1988, 30, 3185.

3. *Артеменко С.Н., Горлова И.Г., Латышев Ю.И.* Письма в ЖЭТФ, 1989, 49, 352.
4. *Stormer H.L., Levi A.F.Y. et al.* Phys. Rev. B, 1988, 38, 2472.
5. *Fossheim K., Laegreid T.* IBM J. Res. Develop., 1989, 33, 365.
6. *Mueller V, Hucho C., et al.* Sol. St. Comm., 1989, 72, 997.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 августа 1990 г.
После переработки
15 октября 1990 г.